



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KOULUTUSRAKENNUKSEN SISÄILMAOLO- SUHTEIDEN SELVITTÄMINEN

Case: TAKK

Ville Palm

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

PALM, VILLE:

Koulutusrakennuksen sisäilmaolosuhteiden selvittäminen
Case: TAKK

Opinnäytetyö 26 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2018

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen päätoimipisteen sisäilmaston nykytilaa sekä tarvittaessa antaa ehdotuksia sisäilmaolosuhteiden parantamiseksi. Sisäilmaston tilannetta tutkittiin ilmavirtamittauksilla, savukokeilla, sisäilmastokyselyllä sekä mittausjärjestelmästä saaduilla tuloksilla.

Kohteen sisäilmaolosuhteet osoittautuivat selvityksen perusteella pääosin hyviksi. Ainoastaan rakennuksen erään kerroksen itäpäädyssä sijaitsevat toimistot sekä luokat vaativat toimenpiteitä sisäilmaston parantamiseksi. Lisäksi joissain tiloissa lämpötilan vaihtelu, tunkkainen ja kuiva ilma aiheuttivat epämieluisia tuntemuksia työntekijöiden keskuudessa.

Merkittävin keino olosuhteiden parantamiseksi, erityisesti ongelmallisissa toimistoissa sekä luokissa, oli ilmanvirtojen mittaus sekä ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus tilakohtaisesti todellisten käyttäjämäärien mukaan. Lisäksi lämmitysjärjestelmän säätö sekä tasapainotus ja passiivinen aurinkosuojaus etenkin rakennuksen eteläsivulla, auttaisivat estämään lämpötilan liiallista kohoamista sekä vähentämään tilojen välisiä lämpötilaeroja.

Asiasanat: sisäilma, ilmanvaihto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

PALM, VILLE:

Settlement of Indoor Climate Conditions in Educational Building

CASE: TAKK

Bachelor's thesis 26 pages, appendices 3 pages

May 2018

The purpose of this study was to make a settlement of indoor climate condition in educational building and make countermeasures if necessary. The condition of indoor climate were investigated by measuring air flows, smoke tube tests, indoor climate survey and 720° -measuring system.

The building's indoor climate proved to be mostly good. Only the offices and the classrooms in the second floor in the building's eastern side needed actions to improve the indoor climate. In addition, the changing of temperature and stale and dry air caused unpleasant feelings among employees in some of the rooms.

The most significant method to improve the indoor climate in the building, especially in the offices and classrooms which were problematic, were measurement of the air flows and balancing the ventilation system. In addition, adjustment and balancing of the heating system and passive solar protection, especially on the building's south side, would prevent temperature's excessive rising and that also would help to decrease the difference of temperature between rooms.

Key words: indoor air, ventilation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KOHDE	6
3	HYVÄN SISÄILMASTON TAVOITTELU	7
3.1	Sisäilmastoluokitus 2008	8
3.2	Kansallinen sisäilmaohjelma	9
4	YLEISIÄ SISÄILMAONGELMIA	10
4.1	Lämpöolot.....	10
4.2	Ilman liike ja veto	12
4.3	Ilman kosteus ja laatu	13
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	15
5.1	Ilmavirtojen mittaus päätelaitteista.....	15
5.2	Savukokeet.....	16
5.3	720° -mittausjärjestelmä.....	17
5.4	Sisäilmastokysely.....	17
6	TULOKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET	18
6.1	Ilmavirrat	18
6.2	Savukokeet.....	19
6.3	720° -järjestelmän mittaukset.....	19
6.4	Sisäilmastokysely.....	20
7	POHDINTA.....	22
	LÄHTEET.....	23
	LIITTEET.....	24
	Liite 1. 720° -mittausjärjestelmän raportti ajalta 1.6.2017-31.8.2017	24
	Liite 1. 720° -mittausjärjestelmän raportti ajalta 1.6.2017-31.8.2017.....	25
	Liite 1. 720° -mittausjärjestelmän raportti ajalta 1.6.2017-31.8.2017.....	26

1 JOHDANTO

Yksi rakentamisen sekä kiinteistöjen käytön ja ylläpidon tärkeimpiä tavoitteita on hyvä sisäilmasto. Hyvä sisäilma on terveellistä ja rakennuksen sisäilmaolosuhteiden tulee pitää käyttäjänsä tyytyväisenä. Sisäilmaolosuhteet vaikuttavat ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja tuottavuuteen, sekä rakennusten ja rakenteiden kuntoon. Sisäilman laatuun vaikuttavat useat eri tekijät, joten hyvien sisäilmaolosuhteiden saavuttamiseksi onkin kaikki tekijät otettava huomioon jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, materiaalien valinnoissa, rakentamisen toteutuksessa, rakennuksen ylläpidossa ja käyttäjien toiminnassa rakennuksessa.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä selvitys Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen erään toimipisteen rakennuksen sisäilmaston nykytilasta ja tarvittaessa antaa ehdotuksia sisäilmaolosuhteiden parantamiseksi. Olosuhteiden selvittämiseksi kohteessa tehdään mittauksia, savukokeita, haastatellaan käyttäjiä sekä tutkitaan aiemmista mittauksista tehtyjä raportteja. Tuloksia verrataan voimassaoleviin asetuksiin ja suosituksiin sisäilmaolosuhteiden kannalta.

Työssä kerrotaan lyhyesti myös sisäilmaolosuhteista, yleisimmistä sisäilmaongelmista ja niihin vaikuttavista tekijöistä, sekä työssä käytetyistä tutkimusmenetelmistä. Näiden lisäksi työssä esitellään myös Sisäilmayhdistys ry:n laatimaa sisäilmastoluokitusta sekä Terveiden ja hyvinvoinninlaitoksen aloittamaa kansallista sisäilmaohjelmaa.

Lopuksi esitellään tulokset, joiden perusteella on annettu parannusehdotuksia kohteen sisäympäristöstä, mikäli niiden on tutkimusten ja tulosten perusteella katsottu parantavan kohteen sisäilmasto-olosuhteita ja käyttäjien viihtyvyyttä. Pohdinnassa arvioidaan opinnäytetyössä käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä niiden avulla saatuja tuloksia.

2 KOHDE

Opinnäytetyön kohde on Tampereen keskustan tuntumassa, Tampereen Valtatiellä, sijaitseva Tampereen aikuiskoulutuskeskuksen toimipiste (kuva 1). Rakennus on kuusikerroksinen ja se on rakennettu vuonna 1994. Kohteeseen on tehty joitain tilamuutoksia sekä saneerauksia sen olemassaolon aikana. Rakennusta ilmanvaihdon osalta palvelee kuusi ilmanvaihtokonetta ja niitä uusittiin vuonna 2014 energiasaneerauksen yhteydessä, jonka tarkoituksena oli lisätä rakennuksen energiansäästöä.



KUVA 1. Tampereen Valtatien kampus (TAKK)

Kohteessa on koulutustilojen lisäksi muun muassa ravintola, toimistoja, teknisiä tiloja sekä työntekijöiden ja opiskelijoiden sosiaalitiloja. Hallinnon lisäksi Tampereen Valtatien kampuksella on sosiaali- ja terveysalan, matkailu- ja ravitsemisalan, liiketalouden, yrittäjyyssalan sekä tieto- ja viestintätekniikan koulutukset.

3 HYVÄN SISÄILMASTON TAVOITTELU

Sisäilmastolla tarkoitetaan niitä rakennuksen ympäristötekijöitä, jotka vaikuttavat ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Ihmiset viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa, joten ei ole yhdentekevää, millaiset olosuhteet rakennuksessa on. Sisäilmastotekijät vaikuttavat myös rakenteiden kuntoon. Sisäilmasto voidaan jakaa kahteen osaan: sisäilman laatuun ja lämpöoloihin. Sisäilman laadun ratkaisee epäpuhtauspäästöjen määrä suhteessa ilmanvaihdon määrään. Lämpöoloihin vaikuttavat ensisijaisesti sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät, mutta myös ilmanvaihdolla on merkitystä. (Holopainen ym. 2012, 11). Nykyään sisäympäristön laatukäsitteeseen kuuluvat myös valaistus- ja ääniolosuhteet sekä tilasuunnittelun ja sisustuksen esteettiset tekijät, jotka ovat merkittäviä mittareita viihtyvyyden kannalta (Sandberg 2014, 37). Kuviossa 1 on esitelty sisäympäristön käsitettä (Toimitilojen sisäympäristö tuotantoresurssina 2004, 6).



KUVIO 1. Sisäympäristön käsite.

Sisäympäristön vaikutukset ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen ovat merkittäviä, joten hyvien olosuhteiden tavoittelu on tärkeää. Sisäilmastohaitat aiheuttavat työtehon laskua, allergisia sairauksia ja lisäävät sairauspoissaoloja sekä ennenaikaista eläköitymistä. Kustannuksia aiheuttaviin sisäilmastohaittoihin kuuluvat myös kosteusvaurioihin liittyvät sairaudet sekä oireet ja tupakansavun sekä radonin aiheuttamat syöpätapaukset. (Toimitilojen sisäympäristö tuotantoresurssina 2004, 7). Suomessa huonon sisäilman on arvioitu aiheuttavan 13 300 terveen elinvuoden menetyksen vuosittain, joka aiheuttaa miljardin euron kustannukset (Hänninen & Asikainen 2013, 8).

Sisäympäristön parantamiseen on monia keinoja, ja kansantaloudelliset laskelmat osoittavat, että sisäympäristön parannustoimenpiteiden ansiosta suuret taloudelliset hyödyt ovat mahdollisia. Kannattavia sisäympäristöparannuksia ovat liian korkeiden ja matalien huonelämpötilojen välttäminen, ilmanvaihdon säätäminen sopivaksi sekä ilmastointilaitteiden ja -kanavien puhdistaminen. Myös tilojen siivouksen tehostaminen, kiinteistönhoidon parantaminen sekä sisäympäristön säädettävyyden optimointi ovat sisäympäristöparannuksia, jotka lisäävät taloudellista hyötyä. Lisäksi akustisten olojen parantaminen sekä häikäisyn poistaminen ja riittämättömän valaistuksen korjaaminen lisäävät ihmisten työtehoa. (Toimitilojen sisäympäristö tuotantoresurssina 2004, 7).

3.1 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokitus 2008 sisältää sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Asiakirjan on laatinut Sisäilmayhdistys ry. (Sisäilmastoluokitus 2008).

Sisäilmaluokitus on kolmitasoinen, jonka laatuluokat ovat S1, S2 ja S3. S1 on luokista paras. Luokka S3 on pyritty määrittämään siten, että se täyttää rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Luokitus sisältää tavoitearvot muun muassa lämpötilan, hiilidioksidin ja radonpitoisuuksien, valaistusvoimakkuuden, ääniolosuhteiden ja ilman liikenopeuden suhteen. Laatuluokkien määritelmät sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan ovat seuraavat:

S1 Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai ylläampemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. (Sisäilmastoluokitus 2008).

S2 Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta ylitäminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (Sisäilmastoluokitus 2008).

S3 Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Sisäilmastoluokitus 2008).

Ensimmäinen sisäilmastoluokitus ilmestyi vuonna 1995, joka korvattiin uuteen luokitukseen vuonna 2001. Tämän hetken uusien versio julkaistiin vuoden 2008 joulukuussa ja kevään 2018 aikana julkaistaan uusi sisäilmastoluokitus 2018. (Sisäilmayhdistys ry 2018).

3.2 Kansallinen sisäilmaohjelma

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, THL, on aloittanut kansallisen sisäilmaohjelman valmistelun. Ohjelman tarkoituksena on tukea valmisteltavaa Terveiden tilojen vuosikymmen -toimenpideohjelmaa, jolle pääministeri asetti hankeryhmän syyskuussa 2017. Kansallisen sisäilmaohjelman tavoitteena on löytää uusia tapoja ja keinoja sisäilman aiheuttamien terveys- ja viihtyvyyshaittojen ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen. Sisäilmaohjelma myös selvittää laajasti sisäilman aiheuttamia terveyshaittoja sekä niiden arviointia ja parantaa vaikeasti oireilevien hoitoa. (THL 2018). Ohjelman avulla pyritään myös vaikuttamaan toimintatapaa, jonka tarkoituksena on saada julkisten rakennusten sisäilmaongelmien ennaltaehkäisy osaksi kiinteistönhuollon jokapäiväistä toimintaa. Ongelmiin puututaan nopeasti sekä niille etsitään ratkaisua. (VNK 2017).

4 YLEISIÄ SISÄILMAONGELMIA

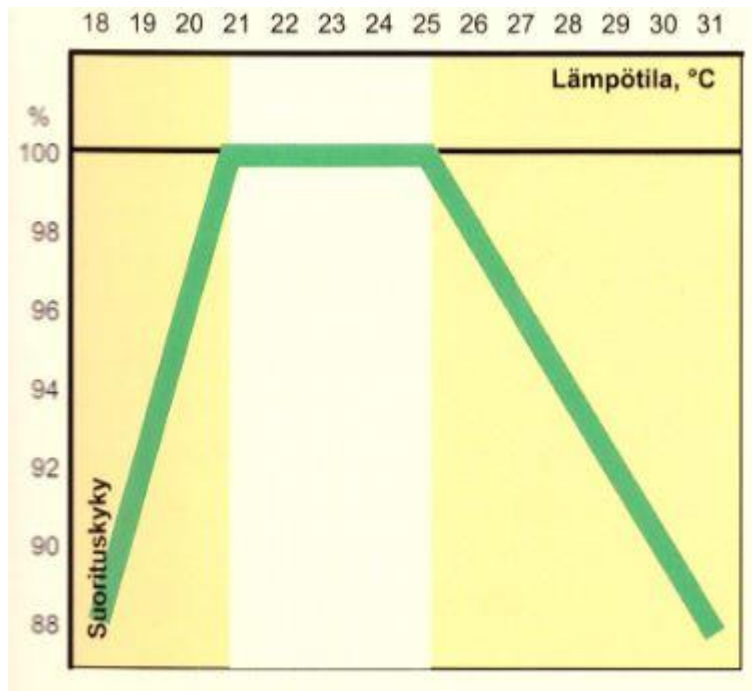
4.1 Lämpöolot

Ihmiselle sopivat lämpöolot ovat yksi suurimmista syistä siihen, millaisia rakennukset ovat. Ympäristön lämpötilan noustessa lähelle ihon pintalämpötilaa, lämmön siirtyminen kehosta ympäristöön vaikeutuu. Lämpötilan nousu alentaa viihtyisyyttä ja aiheuttaa epämiellyttäviä tuntemuksia, joihin ihminen mukautuu alentamalla aktiviteettitasoa ja vähentämällä vaatetusta. Tämä alentaa suorituskykyä ja heikentää tarkkaavaisuutta, jonka seurauksena voi olla onnettomuus- ja loukkaantumisriskin kasvaminen. Mikäli hikoilu ei pysty poistamaan riittävästi lämpöä ympäristöön, elimistön lämpötila alkaa nousta. Elimistön lämpeneminen nostaa fyysistä suorituskykyä aluksi, mutta samalla henkinen suorituskyky heikentyy. Kehon syvälämpötilan noustessa yli yhdellä asteella, myös fyysinen suorituskyky alkaa alentua ja samalla työteho saattaa laskea. (Sandberg 2014, 37, 40).

Lämpötilan noustessa talviaikana optimitasosta, ihmisten kokemat sisäilmaoireet lisääntyvät nopeasti. Lämpötilalla on useita vaikutuksia ilman laatuun. Useiden materiaalien epäpuhtauspäästöt lisääntyvät lämpötilan noustessa. Myös ihmisten omat hajuemissiot lisääntyvät. Ilman suhteellinen kosteus pienentyy lämpötilan noustessa, jolloin ilma koetaan kuivemmaksi ja tunkkaisemmaksi. Aistitun ilman laadun parantamiseen lämpötilan alentaminen onkin merkittävä keino. (Sandberg 2014, 41).

Usein liian korkea huonelämpötila johtuu rakennusten ja niiden LVI-tekniikan toimimattomuudesta ihmisten terveyden ja työnteon kannalta. Liian korkean lämpötilan haitalliset vaikutukset näkyvät talviaikana tyypillisten sairasrakennusoireiden lisääntymisenä jo 23–25 °C lämpötiloilla. Sairasrakennusoireet ovat yhdistetty työtehon alenemiseen ja lyhytaikaisiin poissaoloihin monissa tutkimuksissa. Itsearviodun tuottavuuden ja sairauspoissaolojen määrän on todettu olevan yhteydessä sairasrakennusoireiden määrään. Lämpöolojen ollessa viihtyisyysalueen ulkopuolella työsuoritukset huononevat ja huonelämpötilan ylittäessä 25 °C, korkean lämpötilan vaikutukset työsuoritukseen näkyvät selvästi. (Sandberg 2014, 42).

Suomessa toteutetussa Tuottava toimisto 2005 -tutkimushankkeessa päädyttiin kuvio 2:n mukaisiin lämpötilan ja suorituskyvyn yhteyksiin (Toimitilojen sisäympäristö tuotantorurssina 2004, 9). Lämpötilan ollessa alle 21 °C sormien voimat sekä näppäryys heikkenevät, joka saattaa hidastaa ja kasvattaa virheiden määrää tekstinkäsittelytyössä (Sandberg 2014, 42).



KUVIO 2. Lämpötilan suora vaikutus työsuoritukseen

Kylmien pintojen lämmönsiirtoa tehostavan vaikutuksen tai ilman liikkeiden johdosta alhaisen lämpötilan vaikutukset voivat pahentua merkittävästi. Talvella lämpötila vaikuttaa ihmisten subjektiivisiin oireisiin, joiden on todettu olevan yhteydessä työsuorituksen alenemiseen ja sairauspoissaolojen lisääntymiseen. Talvella suorituskky alkaa heikentyä, kun lämpötila ylittää 21 °C. Työsuoritukset eivät heikkene merkittävästi lämpimänä vuodenaikana huonelämpötilan ollessa 21-25 °C. (Sandberg 2014, 42).

Kuviossa 3 on esitelty Sisäilmastoluokitus 2008 määrittelemät sisäilman lämpötilojen tavoitearvot eri sisäilmastoluokille. Arvoja käytetään sisäilmaston tavoitetason määrittelyssä hankkeen suunnitteluvaiheessa ja ne koskevat tilan oleskeluvyöhykettä.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

KUVIO 3. Lämpötilan tavoitearvot. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5).

4.2 Ilman liike ja veto

Ilman liikkeestä aiheutuvat vaikutukset ihmisten tuntemaan lämpöviihtyisyyteen riippuvat merkittävästi ihmisten omakohtaisesta lämpöaistimuksesta. Pienikin ilman liike voi tuntua epämiellyttävältä vedolta, olon ollessa neutraali tai viileä lämpötilan suhteen. Liikkuva ilma voi myös tuntua miellyttävältä, kun ihmisen oma lämpöaistimus on lämpimän puolella. Ihmiset ovat monilla eri tavoilla herkkiä ilman liikkumisesta aiheutuvien tunteiden suhteen, joten viilentävän ja vedon välisen ilman liikkeen rajan löytäminen on haastavaa. (Sandberg 2014, 47).

Ihmisen oman lämpöaistimuksen ollessa viileä tai se on muuttumassa viileän suuntaan, hän kokee vetoa. Myös lämpötila ja lämpösäteily sekä nopeasti muuttuvat olosuhteet ja niiden epäsymmetrisyys aiheuttavat vedon tuntua. Vetoaistimukseen ei välttämättä tarvita havaittavaa ilman liikettä, mikäli huonelämpötila on lämpöneutraalia vastaavaa optimilämpötilaa alhaisempi. Ilman liikkeen vaihtelu ja keskinopeuden kasvu lisäävät lämmönsiirron tehokkuutta, jolloin ihminen saattaa tuntea vetoa. Ihmisen pään, rintakehän sekä vatsan lämpötasapaino vaikuttavat merkittävästi lämpöaistimukseen. Käsien ja jalkojen vaikutus lämpöaistimukseen korostuu ihmisen ollessa liikkeessä. Kehon lämpötilan viilentäessä raajojen paikallinen jäähtyminen saattaa aiheuttaa epämiellyttävyyden tuntua. Optimilämpötilassa niskaan kohdistuva ilmapvirtaus koetaan epämiellyttävämpänä kuin

ylhäältä tuleva tai kasvoihin kohdistuva virtaus. (Sandberg 2014, 47-48). Kuviossa 4 on esitelty Sisäilmastoluokitus 2008:n määrittelemät ilman liikenopeuden tavoitearvot eri sisäilmastoluokille.

Suure	Ilman liikenopeus m/s		
	S1	S2	S3
$t_{\text{ilma}} = 21\text{ °C}$	<0,14	<0,17	0,2 (talvi)
$t_{\text{ilma}} = 23\text{ °C}$	<0,16	<0,20	
$t_{\text{ilma}} = 25\text{ °C}$	<0,20	<0,25	0,3 (kesä)

KUVIO 4. Ilman liikenopeuden tavoitearvot. (Sisäilmastoluokitus 2008, 6).

4.3 Ilman kosteus ja laatu

Kuiva ilma on kaasujen hapen, hiilidioksidin, typen ja argonin seos. Käytännössä ilmassa on kuitenkin mukana aina vesihöyryä, jolloin kyseessä on kosteaa ilmaa. Yleensä kosteuden määrää ilmassa määritellään kahdella eri tavalla: suhteellisella ja absoluuttisella kosteudella. Suhteellinen kosteus kertoo vesihöyryn määrän ilmassa suhteessa siihen, paljonko vesihöyryä mahtuu ilmaan tietyssä lämpötilassa. Absoluuttinen kosteus kertoo vesihöyryn määrän yhtä kuivaa ilmakiloa kohden. (Sandberg 2014, 81).

Sisäilman kosteuden määrällä on vaikutuksia hengitysterveyteen. Suhteellisen kosteuden ollessa liian matala, jolloin ilma on kuivaa, se aiheuttaa ja lisää ihon ja limakalvojen kuivumista. Sisäilman suhteellisen kosteuden liiallinen korkeus voi aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita, joiden seurauksena ihminen voi saada vakaviakin terveyshaittoja. (Hengitysliitto 2018).

Useat epäpuhtaudet ovat peräisin ihmisistä, ulkoilmasta sekä tilassa tehtävästä toiminnasta ja niistä tulevat epäpuhtauspäästöt vaihtelevat ajallisesti. Monet epäpuhtauspäästöistä aiheutuvat sisustus- ja rakennusmateriaaleista, jonka takia päästöjen eliminointi ei ole aina mahdollista, vaan on käytettävä esimerkiksi ilmanvaihtoa ja ilman suodatusta huoneilman laadun parantamiseksi. Kuitenkaan kaikkien epäpuhtauksien poistaminen huoneilmasta ilmanvaihdon avulla ei ole taloudellista eikä järkevää, ja nykytekniikalla edes tarpeeksi luotettavaa. Sisäilman laatua arvioitaessa voidaan tarkastella eri epäpuh-

tauspitoisuuksille asetettuja raja-arvoja. Epäpuhtauksille asetettuja raja-arvoja on määritetty vain pienelle määrälle epäpuhtauksista, joten ilman laadun sijoittuessa raja-arvojen sallittuihin arvoihin, sisäilma saattaa silti olla epäterveellistä. (Sandberg 2014, 59).

Sisäilmassa oleva hiilidioksidi on pääosin peräisin ihmisten uloshengitysilma. Hiilidioksidin tuoton ollessa lähes verrannollinen ihon sekä hengityksen kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrään, jonka takia ilman laatua voidaan arvioida hiilidioksidin määrällä. Tilassa oleva korkea hiilidioksidipitoisuus voi olla merkki riittämättömästä ilmanvaihdosta. Kuviossa 5 on esitelty Sisäilmastoluokitus 2008:n asettamat raja-arvot hiilidioksidin määrälle huoneilmassa. Luokituksen S3 arvo vastaa myös rakentamismääräyskokoelman osan D2 määrittelemää raja-arvoa sisäilmalle. (Sandberg 2014, 63-64).

Radioaktiivisen radiumin hajotessa syntyy jalokaasua, radonia. Suomessa radiumia on erityisesti maaperän moreenissa sekä graniitissa. Radon kulkeutuu pääasiallisesti sisäilmaan maaperästä ja se sekoittuu tasaisesti huoneilmaan. Radonpitoisuuden ollessa korkea, keuhkosityövän riski kasvaa ja sen on Suomessa arvioitu aiheuttavan 300-400 keuhkosityöpätpausta vuosittain. Kuviossa 5 on esitelty Sisäilmastoluokitus 2008:n määrittämiä raja-arvoja radonpitoisuuksille eri sisäilmastoluokissa. Sosiaali- ja terveysministeriön määrittämät raja-arvot radonpitoisuuksille uusille asunnoille on 200 Bq/m³ ja vanhoille 400 Bq/m³.

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1 200
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

KUVIO 5. Sisäilmastoluokituksen raja-arvot hiilidioksidi- ja radonpitoisuuksille

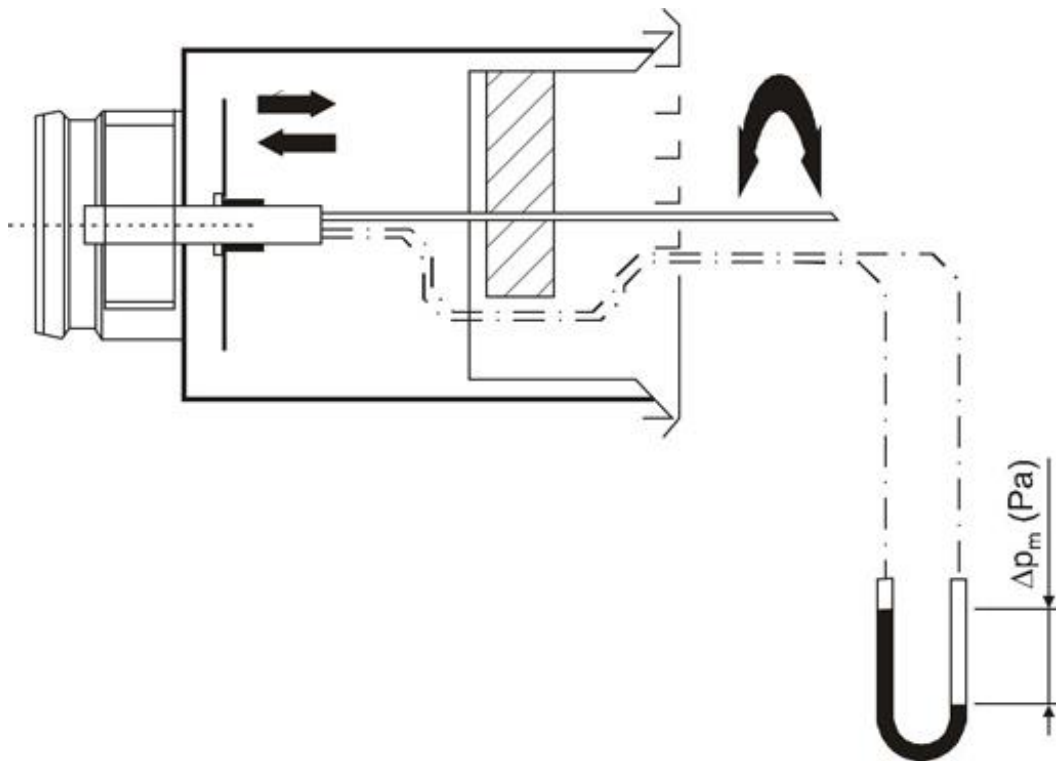
5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Ilmavirtojen mittaus päätelaitteista

Tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden ilmavirrat voidaan määrittää päätelaitteeseen syntyvän mittauspaine-eron avulla. Laitteisiin on usein asennettuna paineenmittausyhteet, jolloin laitteelle on myös määritetty ilmavirran riippuvuus mittauspaine-erosta yleensä käyränä ja yhtälönä. (Sandberg 2014, 71). Ilmavirta q_v voidaan määrittää paine-eron avulla yhtälöllä (1)

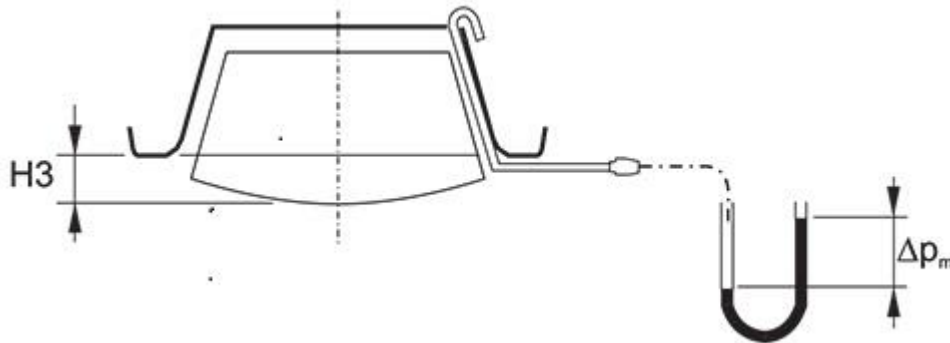
$$q_v = k\sqrt{\Delta p_m}, \quad (1)$$

jossa k on valmistajan ilmoittama kerroin, ja Δp_m on laitteesta mitattu paine-ero. Oikeiden tuloksien saamiseksi on käytettävä päätelaitteen valmistajan määrittämiä yksiköitä. Kuvassa 2 on esitetty tuloilmavirran mittauksen periaate paine-eron avulla.



KUVA 2. Paine-eron mittaus päätelaitteesta. (Halton tulo)

Poistoilmaventtiilin ilmavirta voidaan myös määrittää venttiilin asennosta ja kartion takaa mitatusta paine-erosta huoneilmaan nähden (Kuva 3). Ilmavirta voidaan laskea yhtälöllä (1), kun noudatetaan valmistajan ilmoittamia yksiköitä.



KUVA 3. Paine-eron mittaus poistoilmaventtiilistä. (Halton poisto)

Kohteessa ilmavirtoja mitattiin tiloista, joista oltiin annettu palautetta huonon ilman laadun takia. Lisäksi mittauksia tehtiin ”pistokokein” eri tiloissa. Koska rakennuksessa on useita samankaltaisia tiloja esim. luokkia ja toimistoja, ei ollut tarkoituksenmukaista mitata ilmavirtoja jokaisesta tilasta, vaan mittauksia tehtiin osasta, toisiinsa nähden samankaltaisista tiloista.

5.2 Savukokeet

Savukokeilla voidaan kartoittaa muun muassa rakennuksen vuotokohtia, eri tilojen välisiä painesuhteita ja ilman liikkeitä sisätiloissa. Työn kohteena olevaan koulutusrakennukseen savukokeita tehtiin ilman liikkeiden ja tuloilmapäätelaitteiden heittopituuksien tarkastelua varten.

Kohteen suuresta koosta ja käyttäjämäärästä johtuen rakennuksen kaikkia tiloja ei ollut mahdollista eikä tarpeellista tutkia savukokeiden avulla. Tilat, joihin savukokeita kohdistettiin, valikoituivat ennakoarvioinnin perusteella. Tuloilmapäätelaitteiden ongelmallinen sijoittelu poistoilmaventtiileihin nähden, tilojen muoto, suuri koko tai huonosta ilmanlaadusta tulleet palautteet olivat kriteereinä savukokeiden tilojen valittaessa.

5.3 720° -mittausjärjestelmä

720° -järjestelmä mittaa ja analysoi sisätiloissa ilman laatua, orgaanisten yhdisteiden, hiilidioksidin ja hiukkasten pitoisuuksia ilmassa sekä äänimaisemaa ja lämpötilaa. Järjestelmä tuottaa seurantatiedot käyttäjilleen reaaliaikaisesti, joita voi seurata erilliseltä näytöltä.

Kohteessa oleva 720° -mittausjärjestelmä mittasi lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidin määrää sekä voc-pitoisuutta. Voc -lyhenteellä tarkoitetaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (volatile organic compound). Mittauksia tehtiin neljässä eri tilassa, joista kolme oli toimistoja ja yksi teorialuokka.

5.4 Sisäilmastokysely

Kohteen työntekijöille tehtiin sisäilmastokysely vuoden 2017 tammikuussa. Kyselyn tuotti Tullinkulman Työterveys. Kyselyyn vastasi 77 työntekijää ja siinä selvitettiin vastaajien taustatietojen lisäksi työympäristöä, työjärjestelyitä ja mahdollisia oireita. Vastauksia on verrattu työterveyslaitoksen (TTL) tekemiin sisäilmastokyselyihin vuosina 2006-2007.

6 TULOKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

6.1 Ilmavirrat

Kohteessa tehtyjen ilmavirtamittausten perusteella useimmissa tiloissa ilmamäärät olivat kohteen ilmanvaihtosuunnitelmien mukaisia. Ongelmallisoin kohta ilmavirtojen perusteella löytyi rakennuksen toisen kerroksen itäpuolelta, jossa on kolme teorialuokkaa sekä useita pieniä toimistoja. Toimistot sijaitsevat ilmanvaihdon runkokanavien loppupäässä, ja kyseisissä tiloissa ilma ei vaihtunut juuri lainkaan. Teorialuokkiin, jotka sijaitsevat toimistoja ennen ilmanvaihdon runkolinjoihin nähden, tuloilmaa tuli reilusti suunnitelmia enemmän. Luokkien suunnitelmien mukaiset tuloilmavirrat olivat 120 l/s, kun luokkiin virtaava ilmamäärä mitattaessa oli keskimäärin 180 l/s. Luokkien poistoilmavirrat olivat mitattaessa lähellä suunnitelmien arvoja. Tuloilmavirtojen ollessa suuria tilat olivat ylipaineisia käytävään nähden.

Kohteessa tehtiin erääseen luokkatilaan muutosremonttia kesällä 2017, jonka tarkoituksena oli muuttaa eräs teorialuokka opiskelijoiden taukotilaksi, jossa voi keittää kahvia ja lämmittää ruokaa. Lisäksi tilaan lisättiin vesipiste. Tilan ilmavirrat vastasivat suunnitelmia sen ollessa luokkatila. Kun tila muutettiin taukotilaksi, ilmavirtoja jouduttiin suunnitelmissa lisäämään. Tuloilmavirta oli alun perin 150 l/s, joka nostettiin 215 l/s. Poistoilmavirta oli myös 150 l/s ja se korotettiin 225 l/s. Tilassa olleet kuusi poistoilmaventtiiliä ja niiden kanavat olivat liian pieniä poistoilmavirran lisäämiseen, koska niistä olisi aiheutunut liikaa melua poistoilmavirran kasvattamisen jälkeen. Olisikin suositeltavaa kasvattaa kyseisten päätelaitteiden ja kanavien kokoa. Tilassa olevat tuloilmakanavat- ja venttiilit olivat ilmavirtojen lisäämisenkin jälkeen sopivia tilamuutokseen.

Ilmanvaihdon osalta koko kohteeseen olisi suositeltavaa tehdä ilmavirtojen mittaukset sekä ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottaminen tilojen todellisten henkilömäärien mukaan. Kohteessa on käytössä myös ilmanvaihdon aikaohjelmat ja niiden päivittäminen ajallisesti tarkemmin kohteen käytön mukaan voisi laskea energiankulutusta.

6.2 Savukokeet

Kohteeseen tehtyjen savukokeiden perusteella ilma liikkui tiloissa tarpeenmukaisesti lukuun ottamatta toisen kerroksen itäpuolella sijaitsevia pieniä toimistoja. Jo aikaisemmin tehtyjen ilmapvirtamittausten perusteella huomattu olematon ilmanvaihto kyseisissä toimistoissa huomattiin myös savukokeissa. Savu ei käytännössä liikkunut eikä poistunut poistoilmaventtiileistä kyseisissä toimistoissa. Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottaminen todennäköisesti poistaisi kyseisen ongelman.

6.3 720° -järjestelmän mittaukset

720° -järjestelmällä tehdyt mittaukset opinnäytetyöhön liittyen tehtiin aikavälillä 1.6.2017-31.8.2017, jotka löytyvät liitteestä 1. Taulukossa 1 on esitetty prosentuaalisesti aika, jona lämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidin määrä sijoittuivat sisäilmasto- luokitus 2008:n määrittelemiін laatuluokkiin.

TAULUKKO 1. Mittausten tulosten sijoittuminen laatuluokkiin.

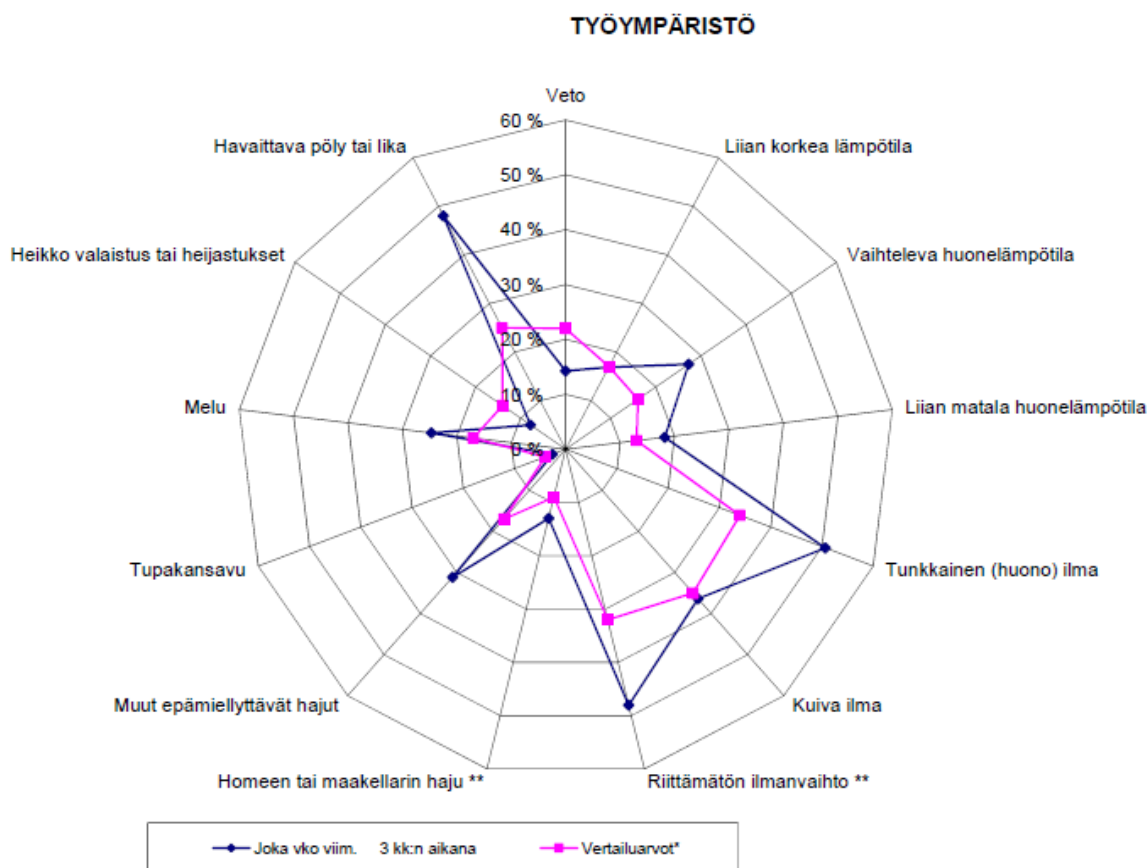
	s1	s2	s3
Lämpötila	69 %	90 %	99 %
Suhteellinen kosteus	95 %	-	-
Hiilidioksidi	93 %	97 %	99 %

Taulukosta nähdään, että tilat joissa mittauksia tehtiin, ovat selvästi suurimman osan ajasta sisäilman laadultaan erittäin hyviä. Suurempaa vaihtelua oli ainoastaan lämpötilan suhteen. Lämpötila kuitenkin pysytteli 20 – 25 C° välillä kuitenkin 98,4 % koko ajasta, joina mittaukset tehtiin.

Lämpötilan liiallisen kohoamisen estämiseksi, etenkin rakennuksen eteläsivulle, passiivisen aurinkosuojauksen toteuttaminen voisi olla hyvä ratkaisu, jonka avulla myös kohteen jäähdytyskustannukset saattaisivat pienentyä. Lisäksi lämmitysverkoston säätö ja tasapainotus auttaisi pitämään eri tilojen lämpöolot tasaisempina toisiinsa nähden, sekä putkista ja pattereista tuleva kohina vähenisi tai loppuisi kokonaan.

6.4 Sisäilmastokysely

Kuviossa 6 on esitelty sisäilmastokyselyn tuloksia, joita on verrattu TTL:n vertailuarvoihin. Kyselyssä kysyttiin työntekijöiden havaintoja työympäristöstään. Kuviosta nähdään prosentuaaliset osuudet eri havainnoille, joita havaittiin joka viikko kolmen kuukauden ajalta.



KUVIO 6. Sisäilmastokyselyn tuloksia

Kuvion perusteella voidaan todeta, että suurimmat ylitykset vertailuarvoihin verrattuna ovat tulleet havaittavan pölyn tai lian, riittämättömän ilmanvaihdon ja tunkkaisen (huonon) ilman osalta. Lisäksi muut epämiellyttävät hajut, liian matala ja vaihteleva huonelämpötila sekä kuiva ilma ovat nousseet vertailuarvoja korkeammiksi kyselyssä.

Lian ja havaittavan pölyn suhteen siivouksen tehostaminen olisi todennäköisesti paras keino epäpuhtauksien poistamiseen. Riittämättömästä ilmanvaihdosta tullut ylitys vertailuarvoihin nähden on ehkä hieman yllättävää, ainakin ilmavirtamittausten perusteella, joiden mukaan lähes kaikissa tiloissa, joissa mittauksia tehtiin, ilmavirrat olivat tiloihin nähden riittäviä. Toisaalta ihmisten tuntemuksissa voi olla suuriakin eroja, joka voi osin selittää kyselyn tulosta. Lämpötilan kohoaminen aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden pientymistä, joka ilmenee kuivempana ilmana. Lisäksi tunkkaiselta tuntuva ilma johtuu usein lämpötilan kohoamisesta. Aikaisemmat ehdotukset lämpötilan kohoamisen hallitsemisesta saattaisivat muuttaa kyselyn tuloksia paremmiksi, mikäli kysely uusittaisiin kyseisten toimenpiteiden jälkeen.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja tehdä selvitys aikuiskoulutusrakennuksen sisäilmaston nykytilasta ja antaa kehitys- ja toimenpide-ehdotuksia ilmaston parantamiseksi, mikäli niihin ilmenisi tarvetta. Tavoitteet täyttyivät ja sisäilmaston tilasta saatiin tehtyä selvitys, niiden tutkimusmenetelmien perusteella, jotka olivat käytettävissä. Pääosin rakennuksen sisäilmasto oli hyvä, ja ongelmakohtiin sekä viihtyvyyden parantamiseksi saatiin parannus- ja kehitysehdotuksia.

Tehdyt tutkimukset sekä käytetyt menetelmät sopivat työhön hyvin ja kohteen sisäilmaston laadusta saatiin resurssihin ja menetelmiin nähden suhteellisen hyvä kokonaiskuva. Tuloksia voidaan pitää melko luotettavina, mutta kuitenkin luotettavammasta sekä paremman kokonaiskuvan antavat tulokset oltaisiin saatu, mikäli tutkimuksia ja mittauksia olisi pystytty tekemään koko vuoden ajalta, jolloin myös lämmityskauden aiheuttamat vaikutukset tuloksiin oltaisiin saatu otettua huomioon. Esimerkiksi savukokeissa ilman liike eri tiloissa olisi todennäköisesti ollut erilaista kesällä tehtyihin kokeisiin verrattuna, johtuen tilojen lämmityspattereiden tuomasta vaikutuksesta. Myös ilman suhteellisen kosteuden tarkasteleminen talviaikaan olisi tarkoituksenmukaisempaa kuin kesällä.

Tärkein kehittämis ehdotus kohteen sisäilmaston parantamiseksi olisi ilmanvaihtojärjestelmän ilmapirtojen kokonaisvaltaisemmat mittaukset sekä ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus tilojen todellisten käyttäjämäärien mukaan. Käyttäjien viihtyvyyden parantamiseksi edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi lämmitysjärjestelmän tasapainotus sekä säätö ja kohteen eteläsivulle tehtävä aurinkosuojaus, olisivat harkinnanarvoisia ratkaisuja. Lisäksi käyttäjien opastus tilakohtaisten säätöjen käyttämiseen olisi tarpeellista ja se auttaisi myös vähentämään huoltohenkilöille tulevia ”turhia” vikailmoituksia.

Sisäilma ja sen laatu on noussut viime vuosina valtakunnalliseksi puheenaiheeksi. Onkin hyvä, että ihmiset tiedostavat huonon sisäilman aiheuttamat terveysvaikutukset entistä paremmin, jonka avulla sisäilmaongelmiin voidaan tarttua entistä hanakammin. Lisäämällä tietoisuutta sekä tutkimuksia, voidaan parantaa rakennusten sisäilman laatua, jolla on erittäin laajat vaikutukset muun muassa talouteen sekä terveyteen.

LÄHTEET

Halton poisto. Paine-eron mittaus päätelaitteesta. Halton. Luettu 19.2.2018.
https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/URH

Halton tulo. Paine-eron mittaus päätelaitteesta. Halton. Luettu 19.2.2018.
https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/TLB#technical-tab-8

Hengitysliitto. Sisäilman kosteus ja lämpötila. Hengitysliitto. Luettu 18.3.2018.
<https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lamputila>

Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J. & Virranta, P. 2012. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Tavoitteena hyvä ja energiataloudellinen sisäilmasto. 2. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Hänninen, O. & Asikainen, A. 2013. Efficient reduction of indoor exposures. Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source control. THL Report 2/2013.

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy

Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmayhdistys ry. RT 07-10946.

Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoluokitus 2018. Luettu 21.3.2018.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Sisailmayhdistys/Sisailmastoluokitus>

THL. Kansallinen sisäilmaohjelma. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. Luettu 18.3.2018.
<https://thl.fi/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimukset-ja-hankkeet/thl-kansallinen-sisailmaohjelma-valmisteluvaihe>

Toimitilojen sisäympäristö tuotantoresurssina. 2004. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy

VNK. Pääministerin ilmoitus Terveiden Tilojen Vuosikymmen -toimenpideohjelmasta. Valtioneuvoston kanslia. Luettu 18.3.2018. http://vnk.fi/artikkeli/-/asset_publisher/paa-ministerin-ilmoitus-terveiden-tilojen-vuosikymmen-toimenpideohjelmasta

Liite 1. 720° -mittausjärjestelmän raportti ajalta 1.6.2017-31.8.2017



Report

2017.06.01 - 2017.08.31

Tampereen Valtatie 15

Asset Statistics

Location	High material Score	emissions	VOCs concentration [1]	CO2 concentration [2]	Temperature setpoints [3]	Temperature fluctuations [4]	CO2 (ppm) [5]	VOCs (ppb) [5]
Tampereen Valtatie 15	7.6	-	99.9 %	99.2 %	98.4 %	38	463 / 764	59 / 216
Huoneet 143 ja 144	7.7	-	99.9 %	99.3 %	99.1 %	10	473 / 697	70 / 176
Huoneet 153 ja 154	7.6	-	100.0 %	99.2 %	97.8 %	28	453 / 642	48 / 152

[1] Percentage of time VOCs concentration was within the range 0 - 1500 ppb

[2] Percentage of time CO2 concentration was within the range 0 - 1000 ppm

[3] Percentage of time temperature was within the range 20 - 25°C

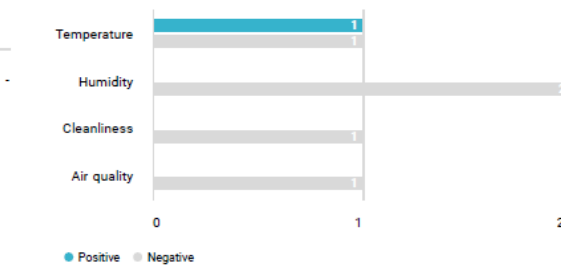
[4] Number of occurrences when the variations of temperature was above 1.1°C per 15 minutes

[5] Average / Upper limit of the concentration. Upper limit corresponds to the average standard deviation values

Feedback

Total feedback

General satisfaction rate





Finnish Indoor Air Classification Guidelines

Classification

Environmental factors	S1	S2	S3	Class compliance
Environmental factors	S1	S2	S3	Class compliance
Temperature [1]	69 %	90 %	99 %	S2
Relative humidity [2]	95 %	-	-	S1
Carbon dioxide [1]	93 %	97 %	99 %	S1
Volatile organic compounds [3]	-	-	-	S1
PM 2.5 [1]	100 %	-	100 %	S1
PM 2.5 indoor / outdoor ratio [1]	100 %	100 %	-	S1
Ventilation rate per person [1]	81 %	84 %	-	S1

ASHRAE guidelines

Guidelines

Environmental factors	Compliance [% of the operative time]
Thermal environment [1]	8%
Relative humidity [2]	100%
CO2 [3]	99%
Ventilation rate per person [4]	89%

[1] Based on the predicted percentage dissatisfied (PPD) and predicted mean vote (PMV) with $PPD < 10$, $-0.5 < PMV < 0.5$

[2] Relative humidity $\leq 65\%$

[3] $CO_2 \leq 1090$ ppm. Informative appendix, this is not a requirement necessary for conformance to the standard

[4] Ventilation rate per person ≥ 8.5 l/s.person

References

ASHRAE Standard 55-2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI Approved)

ASHRAE Standard 62.1-2016 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved)

ASHRAE Standard 62.1-2016 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved) – INFORMATIVE APPENDIX C RATIONALE FOR MINIMUM PHYSIOLOGICAL REQUIREMENTS FOR RESPIRATION AIR BASED ON CO2 CONCENTRATION



WELL guidelines

Guidelines

Environmental factors	Compliance [% of the operative]
Thermal environment [1]	
Total volatile organic compounds [2]	
PM 2.5 [3]	
PM 10 [4]	
Particle filtration [5]	
Ventilation rate per person [6]	

[1] Based on the predicted percentage dissatisfied (PPD) and predicted mean vote (PMV) with PPD

[2] Total volatile organic compounds < 500 µg/m³

[3] PM 2.5 < 15 µg/m³

[4] PM 10 < 50 µg/m³

[5] Equivalent MERV 13 (or high), based on PM 2.5 filtration efficiency > 90%

[6] Ventilation rate per person >= 8.5 l/s.person

References

The WELL Building Standard v1 and Pilots (including Multifamily, Retail, Education, Commercial Kitchen, and Restaurant) with Q3 2017 addenda